

# 多平台武器协同控制系统体系结构探讨

白奕, 王海川

(江苏自动化研究所, 江苏 连云港 222061)

**摘要:** 通过分析舰艇编队协同防空作战能力需求, 进行了典型协同交战作战想定, 研究分析了协同火控带来的突出优势, 提出了多平台武器协同控制系统的体系结构, 通过基于分布式火控解算的协同火力控制模型, 解决了跨平台武器的协同控制问题, 并分析了该体系结构下对协同防空作战能力的提升作用。

**关键词:** 舰艇编队; 协同防空; 协同火控; 体系结构

**中图分类号:** TP751

**文献标识码:** A

## 0 引言

随着现代军事技术的飞速发展和战场环境的变化, 在现代信息、微电子、计算机及其网络、精确制导和新材料新能源等高新科学技术的最新研究成果促进下, 新一代反舰导弹向着远射程、超音速、智能化、高机动、掠海飞行、对海浪自适应、隐身化、高精度、大威力和高抗干扰能力的方向发展, 远程亚音速巡航、超音速突防、亚音速隐形、超音速隐形或高超音速同航路规划与高度智能化制导相结合将成为新一代反舰导弹的基本发展模式。远射程反舰导弹可实现在防区外和视线外发射反舰导弹攻击水面舰艇; 反舰导弹速度越来越快, 使水面舰艇武器的反应时间越来越短, 对目标实施交战的次数大大减少; 反舰导弹具有机动攻击目标的能力, 采用智能控制多变弹道技术, 使导弹的弹道实现机动控制, 采用智能制导技术, 巡航段多方向机动, 末制导头在合适的时机自动开机, 进行反导机动, 具有对抗主动、被动干扰的能力及再次攻击的能力, 增强了反舰导弹的突防能力, 给水面舰艇的对空防御造成困难; 反舰导弹具有掠飞行和对海浪的自适应能力, 使水面舰艇探测雷达受多路径效应的影响, 难于发现目标, 给对空防御造成困难; 反舰导弹采用隐身技术减少雷达的反射面积, 使水面舰艇的探测雷达难于发现目标, 缩短防空武器的预警时间; 同时由于现代海战中往往采用多方向、多层次、多批次的饱和攻击战术, 若没有有效的防御策略和能力, 必然会使得水面舰艇的防空武器仓促上阵、应接不暇, 从而使防空效果大打折扣, 未被拦截或拦截无效的反舰导弹可一举击毁水面舰艇。

如何有效应对目前和未来出现的威胁考验着海军的能力。由于目标难于探测、跟踪, 交战时间非常短促, 且来袭目标多采用饱和攻击样式, 仍采用单一舰载作战系统独立防御的作战模式, 已难以有效地保护舰艇自身的安全。因此, 为有效提高舰艇编队的整体对空的作战效能, 提高编队内舰艇的生存能力, 未来的海战已经由单舰防空转向水面舰艇多平台协同防空。协同作战是舰艇编队作战的基本要求, 是克服单舰作战能力不足和发挥编队整体优势的根本保障。

## 1 协同防空作战能力需求

协同作战是通过将舰艇编队内各种战斗力量联成一体, 实现战场态势高度共享、部队协调自我同步、作战行动实时并行, 通过按照统一的指挥和火力协调计划, 对敌实施精确协同火力打击, 充分发挥单个武器平台和整个作战系统的效力。协同火力打击方面的主要能力需求包括:

### 1) 互操作能力

在传统的平台中心战中, 由于武器系统间相互独立, 形成“信息割据”、“信息孤岛”、“自动化孤岛”, 无法实施有效的协同, 导致在火力打击的及时性、准确性、有效性和远程交战等方面都不适应未来协同作战的要求。为了实现协同作战, 首先要增强多军兵种各作战单元间的互操作能力, 将战区内的多种作战资源构成有机整体。确保各种平台和系统之间实现无缝、可靠、抗干扰的网络化互连互通, 实时地将传感器、决策者和射手连接在一起。

### 2) 灵活构建能力

为了实现无缝的协同交战，必须确保编配在不同舰艇平台的武器系统，可以根据协同作战任务的要求进行灵活的柔性重组，在最短的时间内形成最佳的系统结构，以及时、灵活地对多武器进行实时调度，从而有效应对各种可能出现的威胁，提高抗饱和和攻击能力和整体作战效能，满足多变的高科技现代化协同作战的需要。

### 3) 快速反应能力

为了适应未来信息化作战需求，在新的作战模式下，要依托先进的信息技术，把横窄纵长的垂直树状结构改变为横宽纵短的扁平网状指挥体制，减少指挥层次，从而支持火控数据能够在最短的时间内到达相应的武器，同时应具备对武器的实时控制能力，使得发现即打击成为可能，缩短对目标的打击时间。

### 4) 火力协调能力

为了使各参战单位作战目标统一、行动协调一致，充分发挥各自优势，形成综合战斗力，能够随着战场态势的不断变化，动态的调整火力计划，实时完成部队编组与调动、目标选择、火力分配、战术和战斗协调，并有效地监控计划的实施。

### 5) 精确协同能力

精确交战的基础是武器系统的数字化和合成化，保证在快速移动中传感器、指挥控制、射击装置之间的有效链接，增强网络化战场能力，向决策者提供传感器信息和情报，并向射击装置实时提供目标定位、识别和控制等信息。

## 2 典型多平台协同防空交战样式

系统交战带来了传统单舰方式所不具备的协同能力，通过将编队内各平台的有效作用范围衔接起来实现分层防御，重点关注目标到达武器打击范围之前与敌平台交战的能力，通过协同来最大限度地解除战斗空间、火力纵深和火力的限制，从而最大程度地适应发展中的威胁。本质上包括如图所示四种协同交战方式：提示交战、远程数据交战、远程发射和远程引导。

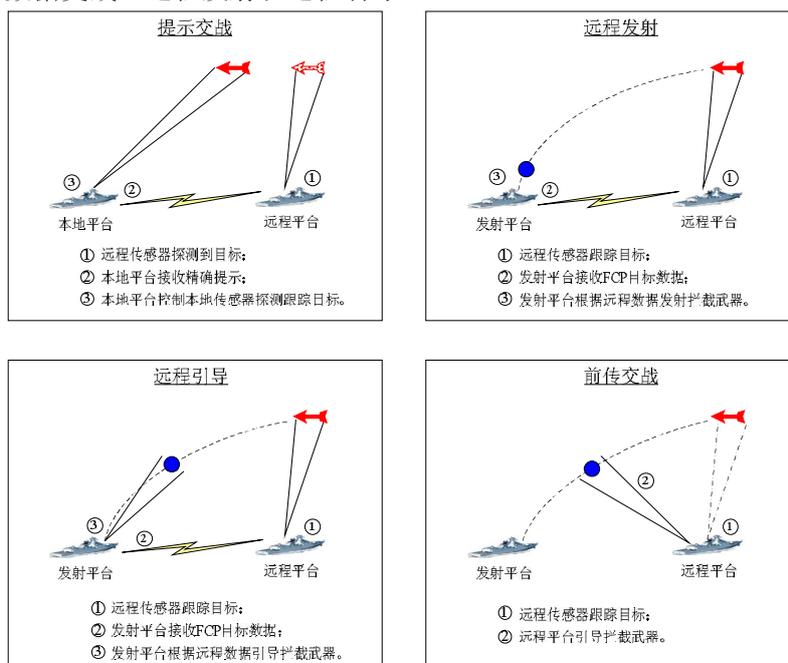


图1 典型协同交战方式

未来协同的优势主要依靠网络使能的分散交战资源的协同运用，由于共享战场态势，使得编队能够尽早地做出发射决策，能够从一系列地理上分散配置的火控单元中选择最佳武器，同时，协同交战打破传统跟踪器和武器必须配对使用的局限，能够充分利用信息优势，有效扩展武器的作用距离，使得附加作战能力如前传交战、远程引导等成为可能，从而大大提高了拦截目标的概率并提高了武器的使用效能，使得编

队能够对抗更为复杂的威胁环境。

编队协同交战的样式依赖于相关传感器、武器、C2 节点实时、精确共享目标信息的能力。根据编队信息共享达到的程度及编队内各协同平台的不同装备情况及当时的作战态势，编队武器可以采用不同的协同交战样式。

在协同交战样式研究中认为武器能够接收两类支持协同交战的战场态势信息：一类是由情报网提供的通用作战图像 (COP)、通用战术图像 (CTP) 和火控图像 (FCP)，其中 COP 包括非实时战术信息，如红蓝方的行动，先验的敌方情报、自然、政治和地理特征等，用于任务计划、兵力管理；CTP 包括近实时战术数据和信息，用于提示和管理战场资源 (如传感器、通信资源和武器)；FTP 包括实时火控质量数据和量测，用于支持武器的发射和制导。另一类是从传感器到射手的直接信息通道，用于最大程度地保证对目标的有效打击。

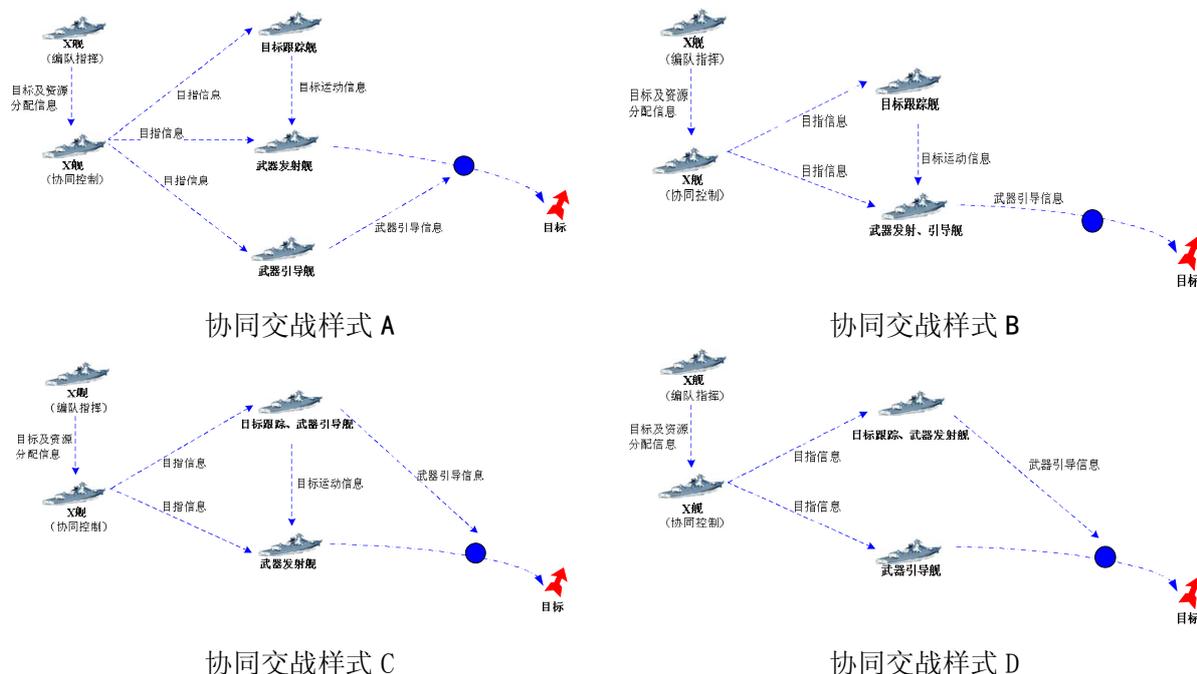


图 2 协同交战样式

表 1 协同交战样式

序号	目标跟踪	武器发射	武器引导	协同方式描述
1	A	B	C	全分散协同
2	A	B	B	谁发射谁引导
3	A	B	A	谁跟踪谁引导
4	B	B	A	跟射同台、协同引导

参与协同过程的舰艇等平台可以根据其不同的作用定义为以下几种：

编队指挥平台。编队指挥所在平台，负责提取进行协同交战的目标，并进行编队作战指挥的舰艇。

协同控制平台。协同交战决策所在的平台，负责在对具体目标协同交战时，进行编队范围内武器的优化分配、通道组织、打击监控等。它可能是编队指挥舰，也可以是由编队指挥舰委托指挥的其它舰艇。

目标跟踪平台。目标跟踪所在的平台，负责向指定的武器发射舰提供目标运动参数。

武器发射平台。武器发射所在的平台，负责解算武器发射诸元，控制武器发射。

武器引导平台。武器引导所在的平台，负责武器发射后对武器进行引导。

在具体的协同交战过程中，不一定同时需要 4 个平台，如根据实际情况，编队指挥平台可能同时是协同控制平台，协同控制平台可能同时是武器发射平台等等。因而，本质上，协同交战样式就是目标跟踪功

能、武器发射功能、武器引导功能的组合经分析共有如表 1 所示四种协同交战样式，为了体现“协同”，目标跟踪、武器发射和武器引导功能的实现不应同为同一平台。其协同交战样式图 2 所示。

### 3 多平台武器协同防空系统体系结构

#### 3.1 多平台武器协同防空系统体系结构设想

将海战场编队多平台作为一个“整体”的协同交战过程中，由于涉及因素众多，包括战场的态势、目标的特性、编队的兵力配置等，对系统的复合作战能力、协调能力、重组能力及扩展能力提出了史无前例的严格要求。为了协调使用多种作战资源，有必要建立有利于系统之间互连、互通、互操作的开放式体系结构。

为了进行有效的资源管理，按照功能，将编队范围内的作战资源管理分为三层：武器协同、传感器协同和通信协同，其中武器协同是协同的最终体现形式，通信协同、传感器协同优势经由武器协同体现到编队作战效能的提高。

**武器协同管理。**武器协同管理包括将武器分配给目标、选择最佳的交战时间、计划武器投射（包括领空无冲突）以及安排传感器和通信来支持武器。同时，随着海军武器范围的增加，与其他军种的火力协同正成为一个越来越关键的要求。

**传感器协同管理。**传感器协同管理是将有限的传感器资源分配给目标探测、跟踪、分类与识别、杀伤与战斗损失评估以及武器支援。随着更远程、多模式、能支持多种使命和功能的传感器的开发，传感器管理与控制正在成为一项越来越复杂和重要的工作。

**通信协同管理。**通信协同管理是将有效的通信资源进行分配，从而支持传感器、武器和处理功能。如今，大多数通信管理都以非实时的计划模式完成，但越来越需要一个更灵活的实时分配、计划、管理和控制。

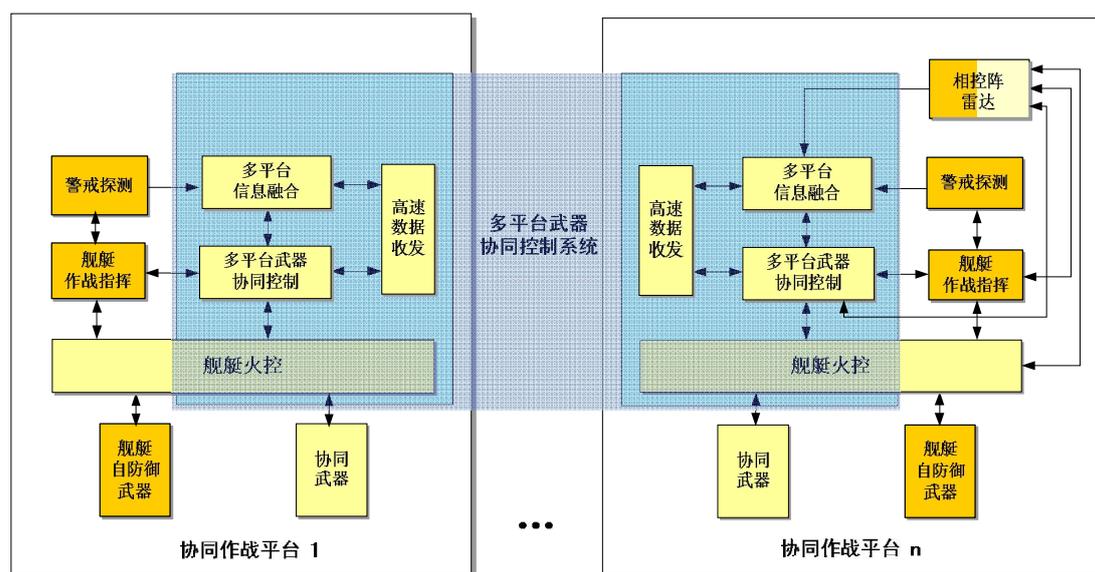


图 3 多平台武器协同控制系统功能结构

由传统纵向烟囱式的系统变为纵横交错的协同能力系统，一方面横向分别在通信、传感器、武器层次具备优化的能力，在横向的基础上，通过指挥控制构成纵向的通道，实施一体化的打击，将横向的三个层次交织优化利用。过程中，人们需要传感器管理与控制算法来帮助操作人员协调使用传感器资源，需要在作战区域内优化分配搜索传感器获得全局态势，对所选目标的交战时，需利用传感器资源把航迹误差减少到所使用的武器可以接受的范围。当已经识别并定位了目标后，必须进行武器管理与控制决策，需要算法和辅助决策来帮助操作人员选择最佳武器，并确保在武器飞行期间提供足够的传感器覆盖，以及在需要时可利用通道链路给武器提供飞行中的目标更新，实现成功地与机动和活动目标交战需要在几分钟到几秒内

进行决策。

实际上, 这些功能也同样适用于以平台为中心的系统, 而在编队范围内, 协同作战的独特之处在于传感器、武器和处理功能都在多种平台上分布, 由战术网络连接。

由于战场的杀伤能力主要来自武器系统, 其中的武器协同管理就是作战效能实现的最前端, 设想的多平台武器协同控制系统的体系结构由传统单平台功能与新增协同功能两部分共同构成, 如图所示。

在装备应用相控阵雷达的舰艇平台上, 由于相控阵雷达集目标搜索、航迹处理、电子侦察、目标指示、目标精跟踪和导弹制导功能于一体, 属于全舰共用设备, 因此, 在系统设计时按照功能对其进行了划分, 以保证舰艇作战指挥系统、武器系统和火控系统等的功能完整性, 将目标分配和目标指示等功能纳入到作战指挥系统中, 将目标精跟踪和导弹制导等功能纳入到火控系统中。此时舰艇跟踪传感器主要指光电跟踪设备, 用以增强系统的抗干扰能力, 并满足某些武器控制使用中的特定需要。

多平台武器协同控制系统功能结构中, 传统单平台功能包括警戒探测功能、舰艇作战指挥功能、火力控制功能; 新增协同功能主要包括高速数据收发功能、多平台信息处理功能和多平台武器协同控制功能。由于在原有作战系统上, 增加协同功能, 使传统的单平台功能也有所变化。

#### 高速数据收发功能

高密度、快节奏的防空作战对协同平台间的数据收发提出了极高的要求, 为了实现编队多平台武器协同防空作战所需的无缝控制, 需要平台间通过高速数据通信网达到高速、畅通的联络, 技术上, 每个单元的雷达和武器控制子系统接收远程数据的质量及时延特效要与正常从本平台的传感器子系统上接收数据的质量和时延相同, 实现协同平台间火控质量数据的实时收发, 保证“你视即我视”。

#### 多平台信息融合功能

多平台信息融合功能模块接收并融合来自各协同平台的目标测量数据(主要来自于各协同平台的相控阵雷达和搜索雷达)、编队各平台的位置数据等数据, 通过自动网络锁定、自动识别和航迹相关处理产生一个基于合成航迹和合成识别数据库的战术态势图像(SIAP), 并且在协同网络内所有协同单元中所形成的合成航迹和合成识别数据库是相同和同步的。由于在数据融合中考虑了几何位置、时间性、网络坐标锁定精度和雷达测量精度, 因此, 可提供火控质量航迹与航迹更新给武器协同控制功能模块, 用于协同交战决策。

#### 多平台武器协同控制功能

多平台武器协同控制是根据目标的性质、威胁程度及我方武器的性能、状态, 拟定交战方案、分配武器, 并给指定的武器送出目标指示参数和交战控制命令, 其目的是充分发挥己方武器的威力, 削弱敌方武器的威胁。多平台武器协同控制功能模块接收来自多平台信息处理功能模块所提供的 SIAP, 提取需要进行协同打击的目标, 进行协同威胁判断, 并根据协同作战资源的情况, 制定最佳协同交战方案, 经指挥官确认的协同交战方案, 分别下发到相关协同平台, 通过舰艇火控系统实现对多平台传感器和武器的实时动态调度, 完成协同交战任务。其中, 协同交战方案主要包括协同打击的目标批号, 跟踪传感器的平台号、型号和时机, 武器发射平台的平台号、型号和时机, 制导传感器的平台号、型号和时机, 所打击目标的协同跟踪数据等。

协同交战中, 通常由预先指定的担任协同作战指挥任务的协同作战平台制定和发布协同交战方案, 由其它协同作战平台中的多平台武器协同控制功能模块, 向相应平台的火控系统发送协同控制命令及相关数据。其子功能主要有协同打击目标提取、协同威胁判断、作战资源分配、协同交战辅助决策、协同交战方案制定、协同作战评估。

#### 舰艇作战指挥功能

当舰艇进行自防御作战时, 该功能根据分配的自防御目标和作战资源, 进行本舰自防御武器通道组织, 并指挥本舰的自防御。

#### 舰艇火控功能

多平台武器协同控制系统所要完成的对武器和跟踪器的协同控制, 是由武器发射平台和跟踪平台上的舰艇火控系统来分别实现的。舰艇火控功能, 一方面响应编队协同要求, 控制被划拨为协同作战的武器及跟踪器进行协同作战, 另一方面响应本舰舰艇作战指挥系统要求, 控制被划拨为舰艇自防御的武器及跟踪

器进行舰艇自防御。

在这样一种体系结构中所蕴含的是对传感器分配、网络及其处理机的分布功能管理以及对分配武器分配的充分控制。

### 3.2 多平台武器协同控制与传统火控的区别

武器一般是由火控系统控制的，信息的共享、处理和火力控制，以及射击指挥等功能都是由火控系统完成的，因此火控系统在协同火力打击中作用至关重要。如何在协同的背景下，迅速、高效地组织和控制战场火力资源对目标实施有效打击成为当前火控领域的突出问题。从现状来看，基于武器作战平台的传统火控系统主要实施单一平台火力的实时控制。在指挥自动化系统的组织和指挥下，可以实现基于预先作战计划的协同火力协同。

#### 1) 基于武器作战平台的传统火力控制系统

基于武器作战平台的传统火力控制系统主要依据本平台指控系统分配的目标，使用本系统的跟踪传感器完成对目标的捕获跟踪、武器射击（发射）诸元解算和射击控制，其功能流程如图 4 所示。

目前现役的武器系统的火控系统，由于受“烟囱式”体系结构形式的制约，通常各自只能接收其上级指挥系统提供的命令和目标指示数据，相互独立工作，不具备协同打击能力。

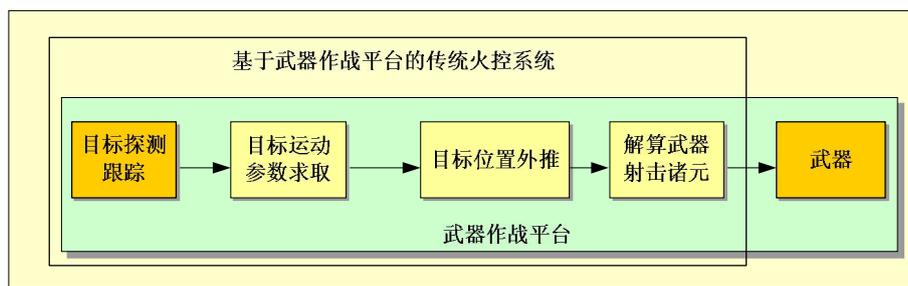


图 4 基于武器作战平台的传统火控系统功能流程图

#### 2) 基于指挥自动化系统的协同火力控制系统

基于指挥自动化系统的协同火力控制，主要依据预先制定的作战计划，向相关作战平台发布作战命令、目标指示引导数据和火力协同打击计划，作战平台的火控系统据此独立完成火力协同控制任务，从而实现对协同火力的协同，参与协同火力打击的火控系统之间相互独立，其功能流程如图 5 所示。

指挥自动化系统由于资源的限制和复杂度等增加，难以深入到制定具体武器火力计划的层次，也难以同时兼顾多个协同火力打击进程的监控、效果的评估和协同火力的实时动态协调控制，只能实现基于预定作战计划的协同火力静态配置管理，且作战计划一般不涉及具体的武器分配、火力优化使用和火力控制问题，因此，只能实现基于预定作战计划的协同火力协同，而不是严格意义的协同火力控制。

同时由于指挥自动化系统向作战平台发送的目标信息通常为几秒钟或更长时间更新一次，即使火控系统之间可以通过指挥自动化系统共享火控信息，也由于数据率低、延迟大而不能直接用于控制武器。因此协同作战的效能不能得到最大化，不能满足未来协同作战的要求。

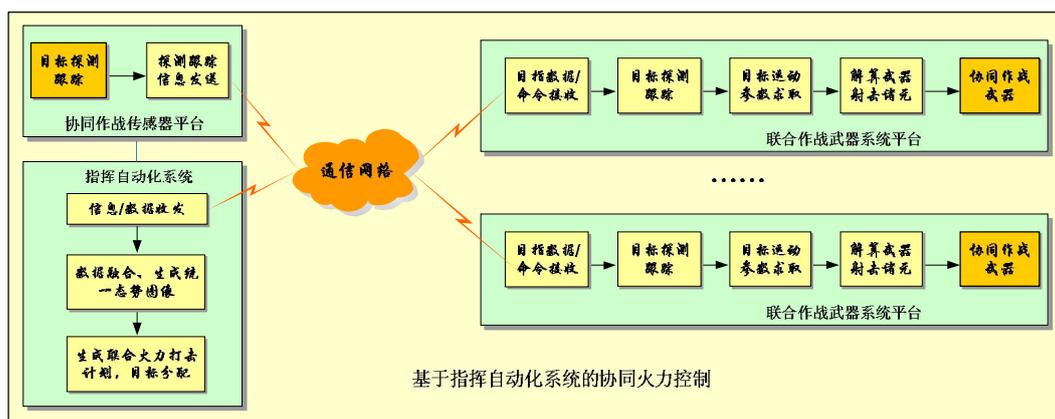


图 5 基于指挥自动化系统的协同火力控制系统功能流程图

### 3) 多平台武器协同控制系统

为了适应协同作战的需求, 必须将战场上广泛分布的火控系统进行有机融合, 使之具备协同火力打击能力, 为此必须构建多平台武器协同控制系统。

多平台武器协同控制系统是为支持分布式网络化作战这种新的作战样式而诞生的一种新型火控系统形式, 它不是一个全新研制的系统, 它应是通过对接现役火控系统进行系统集成而形成的具有协同火力控制能力的新型系统。在其支持下, 能够更好地实现目标信息与火控信息的共享、信息化武器装备的安全无缝连通和火力及时准确的协调与控制, 形成强大的火力层面的互操作能力, 有效支持协同火力打击。

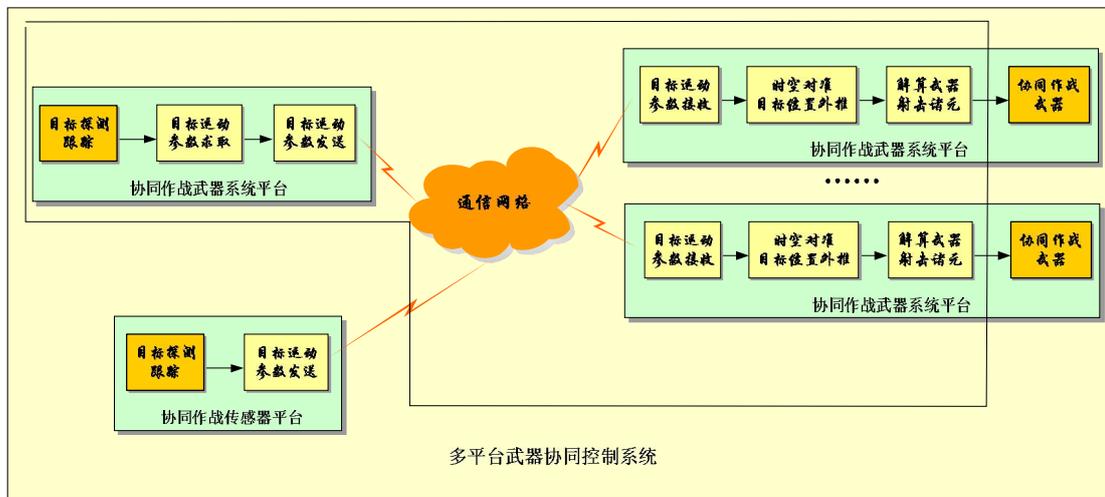


图6 多平台武器协同控制系统功能流程图

### 3.3 多平台武器协同控制系统带来的能力提升

#### 1) 可充分发挥多平台武器装备的作战能力

通过动态构建多平台武器协同控制系统, 能够从地理上分散的武器中选择最合适的武器, 并能够方便地实现火力的集中打击, 从而使得在武器装备功能和性能基本不变的情况下, 大幅度提升体系作战能力。

#### 2) 可实现协同火力从静态配置管理向动态协调控制的转变

多平台武器协同控制系统可依据所分配打击的目标特性和所控制武器的地理位置、战术性能、弹药储备、射击限制区域等因素, 在火力控制层面实现多作战资源的实时动态协调与控制, 以提高对目标的总体毁伤效果。以“精确化”的理念代替“粗放型”的设计, 减少以往各自为战情况下的粗放配合、冗余发射, 降低弹药消耗。

#### 3) 可有效提高时敏目标打击能力

而多平台武器协同控制系统可以构成从传感器到射手的信息直接传输通道, 减少传输层次, 能够有效提高时敏目标打击能力。

#### 4) 火控信息可充分共享

多平台武器协同控制系统通过火控系统之间, 以及与相关传感器之间的广域联网, 形成“扁平化”的信息流动机制, 使得不同火控系统之间的火控处理信息可充分共享, 使得火控系统可以方便地直接共享不同传感器的数据。从而便于实现“从传感器到射手”的快速时敏打击和使用其它平台火控系统的目标跟踪处理数据, 直接武器解算射击诸元, 控制本平台武器射击等的协同交战打击。

## 4 结论

本文通过分析舰艇编队协同防空作战能力需求, 进行了典型协同交战作战想定, 提出了舰艇编队多平台武器协同控制系统的体系结构, 通过基于分布式火控解算的协同火力控制模型, 解决了跨平台武器的协同控制问题, 有效提高了舰艇编队多平台武器的协同控制能力。通过本设想的应用能够在现有和新研舰艇平台传感器和武器的基础上, 通过指火控装备适应性改造和作战系统的集成设计, 形成舰艇编队方面作战

武器的协同作战能力, 充分发挥多平台多种软、硬武器的作战能力, 并进而提高舰艇编队的协同防空作战能力, 具有广阔的应用前景。

**参考文献:**

- [1]刘望安. 美军作战协同特点及协同建设的发展趋势[J]. 国防大学学报 (外军研究), 2003, 163(3):89-90.
- [2]柯云. 美国海军 FORCEnet 与网络中心战[J]. 外军电信动态, 2004, (2): 14-16.
- [3]刘占荣. 在伊拉克战争中的美军传感器网及指挥控制系统, 2006. 10.
- [4]Adam J. Hebert, Compressing the Kill Chain. [J]. AIR FORCE Magazine, 2003. 3.
- [5]蒋晓原. 陆海空天一体化信息支持系统的顶层需求研究. 一体化信息系统专题研究, 2005(3).